

KAEDAH-KAEDAH PROSES PEMBUATAN MENGHASILKAN PRODUK BERASASKAN BAHAN RENCAM (KOMPOSIT) PLASTIK BERTETULANGKAN GENTIAN KACA (GFRP)

Shukur Bin Hj. Abu Hassan
Pusat Komposit UTM
Jabatan Mekanik Gunaan
Fakulti Kejuruteraan Mekanikal
Universiti Teknologi Malaysia

ABSTRAK

Proses pembuatan sesuatu produk berasaskan penggunaan bahan termaju seperti bahan plastik bertetulangan gentian telah melalui beberapa peringkat kemajuan dalam teknologinya. Bermula dengan penemuan kaedah yang dinamakan Bengkalai Tangan (Hand Lay-up) hinggalah kepada penemuan beberapa kaedah yang serba canggih di mana dapat memenuhi spesifikasi teknikal yang diperlukan oleh perekabentuk dan pihak pembuat (manufacturer). Teknologi pembuatan sesuatu produk yang berasaskan bahan komposit termaju adalah amat didorongi oleh kehendak produk itu sendiri. Kebanyakan penemuan kaedah pembuatan adalah dipelopori oleh pihak pembuat serta kerjasama dari pihak penyelidik bagi mencari satu penyelesaian kepada kehendak teknikal sesuatu produk. Dalam kertas kerja ini, ditunjukkan empat kaedah proses pembuatan yang melibatkan penggunaan bahan polimer komposit yang masih dipraktikkan oleh pihak industri pembuatan masakini.

1.0 PENGENALAN

Bagi menghasilkan suatu komponen atau produk yang berasaskan penggunaan bahan plastik bertetulangkan gentian kaca (GFRP)¹ yang mempunyai sifat fizikal dan mekanikal yang tertentu, maka adalah perlu bagi gentian kaca (fibre glass) dan bahan matrik damar (resin matrix) dicampurkan pada nisbah campuran yang tepat serta arah susunan bahan gentian mesti berada pada kedudukan mengikut spesifikasi teknikal yang ditetapkan.

Dengan itu, kaedah pembuatan yang hendak dipilih perlu mematuhi keperluan teknikal yang tersebut di atas. Proses pembuatan yang melibatkan penggunaan bahan komposit pada umumnya boleh dibahagikan kepada dua kaedah yang utama ;

Kaedah A : Acuan Terbuka (Open Moulds)

Bengkalai Tangan (Hands Lay – up)
Semburan (Spray – up)
Hampagas atau Beg Bertekanan
Belitan Filamen (Filament Winding)
Pengacuan Empar (Centrifugal Casting)

Kaedah B : Acuan Tertutup (Closed Moulds)

Pengacuan Tekanan-panas (Hot-press Moulding)
Pengacuan Tekanan-sejuk (Cold-press Moulding)
Pengacuan Suntikan (Injection Moulding/ Resin Transfer Moulding)
Penarikan (Pultrusion)

¹ GFRP – Glass Fibre Reinforced Plastics

1.1 Kaedah-Kaedah Pembuatan

Dalam kertas kerja ini hanya empat proses pembuatan sahaja yang akan diberi tumpuan utama. Kaedah-kaedah tersebut adalah :-

- i. Bengkalai Tangan
- ii. Semburan
- iii. Belitan Filamen
- iv. Penarikan

Keempat-empat kaedah di atas merupakan antara proses yang banyak dipraktikkan dalam industri-industri pembuatan yang berasaskan penggunaan bahan polimer komposit.

2.0 KAEDAH BENGKALAI TANGAN

Kaedah pembuatan ini merupakan teknik yang pertama sekali dipraktikkan dalam industri pembuatan berasaskan bahan polimer komposit. Kaedah ini masih digunakan sehingga kini dikebanyakan industri pembuatan berdasarkan kepada faktor kos yang tidak begitu kritikal.

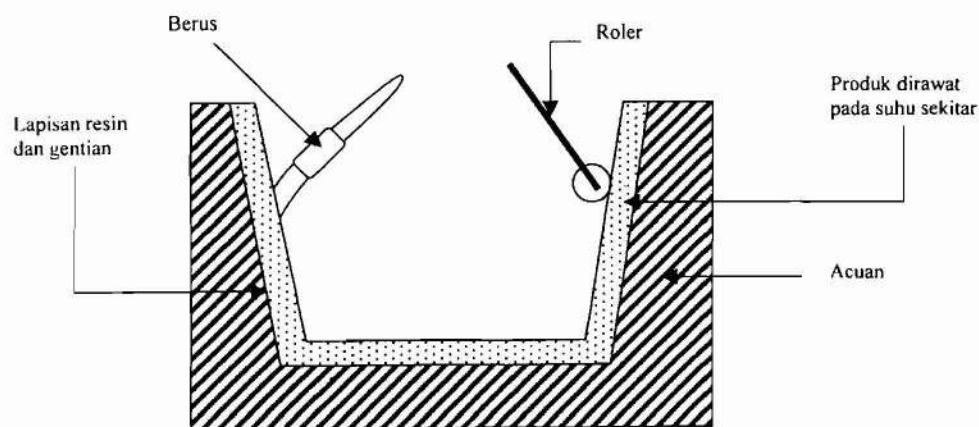
Kaedah pembuatan ini biasanya digunakan untuk menghasilkan struktur produk seperti bot dan tangki penyimpanan air. Kaedah ini juga dikenali sebagai 'bengkalai basah' atau pengacuan sentuh. Bagi kadar pengeluaran produk pada isipadu rendah (low volume production), kaedah bengkalai tangan merupakan yang paling kos efektif. Pada asasnya, kaedah ini tidak memerlukan peralatan atau alat pertukangan yang canggih dan mahal. Secara bandingan, acuan (mould) yang diperlukan adalah tidak mahai atau memerlukan kos yang tinggi dalam proses pembuatannya.

Biasanya, acuan diperbuat dari bahan seperti kayu, plaster, bahan keluli atau dari bahan komposit itu sendiri. Dalam kaedah ini, hanya satu permukaan licin (luar) yang dapat diperolehi, sementara permukaan yang satu lagi (permukaan dalaman) adalah kasar.

Bagi menghasilkan mutu produk yang berkualiti, permukaan acuan perlu digilap dengan baik dan ini hanya dapat dicapai dengan menggunakan bahan pelelas (abrasive) yang ada di pasaran seperti penggilap logam (metal polish) atau adunan/perekat pemotong yang halus (fine cutting paste).

Semasa proses pengacuan, 'hard silicone – free wax' adalah mula-mula sekali digunakan pada permukaan acuan dan digilap. Ini diikuti dengan penggunaan lapisan pembentuk agen pelepas (release agent). Kemudian salut gel (gel-coat) serta campuran damar-mangkin disapu atau disembur ke atas permukaan acuan dan dibiarkan sehingga kering. Tujuan digunakan salut gel (gel-coat) adalah untuk menghasilkan satu permukaan yang kaya dengan lapisan damar ke atas pengacuan, di mana ia turut berfungsi sebagai rintangan kepada tindakan kimia seperti kesan dari pancaran cahaya ungu (uv).

Seterusnya, proses mengenakan lapisan salut yang terdiri dari campuran damar (yang sesuai) dan diikuti dengan gentian kaca diperkuatkan lapisan laminatnya dengan menggunakan roler atau berus. Ini adalah untuk menghilangkan gelembung udara yang mungkin wujud pada lapisan laminat tersebut. Penggunaan damar dan tetulang gentian kaca diteruskan sehingga ketebalan sesuatu produk dicapai. Proses rawatan akhir produk boleh dibuat pada suhu bilik atau dipercepatkan (bergantung kepada jenis damar) dengan menggunakan sistem pemanas.



Rajah 1 Kaedah Asas Bengkalai Tangan

2.1 Ciri-ciri Utama Kaedah Bengkalai Tangan

- | | | | |
|-------|----------------------------------|---|---|
| i. | Jenis produk untuk dihasilkan | - | Bebas |
| ii. | Dimensi akhir produk | - | Tanpa had |
| iii. | Aspek produk akhir | - | Satu permukaan sahaja yang licin |
| iv. | Kandungan gentian kaca (% berat) | - | Dari 25 ke 30% (CSM) ² dan 45-55% (WR) ³ |
| v. | Kadar pengeluaran | - | Dari 1 ke 4 unit/acuan/hari atau 50 ke 200 kg/pekerja/hari |
| vi. | Tenaga kerja | - | Kebanyakannya kurang mahir |
| vii. | Pelaburan | - | Rendah |
| viii. | Keperluan tempat kerja | - | Sistem pengudaraan |
| ix. | | | Bahan-bahan yang digunakan |
| | | - | Salut Gel (Gel-Coat) Damar + Mangkin Filler (tidak mesti) Warna Pigment (tidak mesti) Bahan Gentian |

2.2 Jenis Produk Akhir

- | | | | |
|------|----------------------------------|---|---------------|
| i. | Ketebalan | - | dari 1.5mm |
| ii. | Jejari kelengkungan | - | 5mm (minimum) |
| iii. | Sudut 'Draft' | - | 0° (minimum) |
| iv. | Kemungkinan menggunakan pengikat | - | Tiada masalah |

2.3 Kebaikan dan Kelemahan Kaedah Bengkalai Tangan

Antara kebaikan yang dapat diperolehi hasil menggunakan kaedah bengkalai tangan adalah :

² Chopped Strand Mat

³ Woven Roving

- i. Teknik yang mudah.
- ii. Nilai pelaburan yang rendah.
- iii. Berupaya untuk menghasilkan komponen besar dan kompleks.
- iv. Pengubahsuaian rekabentuk yang murah dan mudah.

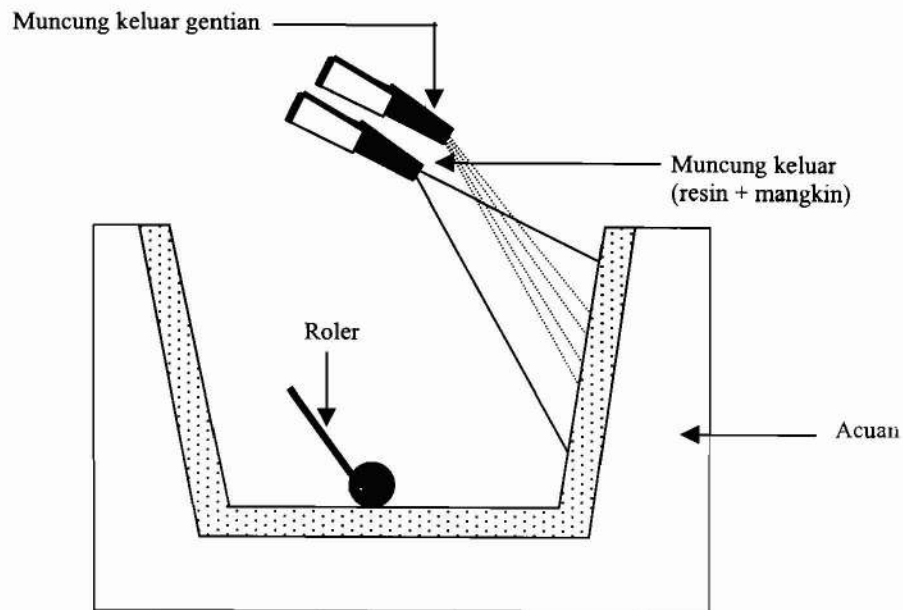
Dan di antara kelemahan yang terdapat pada kaedah bengkalai tangan adalah :

- i. Proses pembuatan yang mengambil masa yang lama.
- ii. Penggunaan tenaga buruh yang tinggi.
- iii. Hanya satu permukaan licin sahaja dapat dihasilkan.
- iv. Kualiti laminat adalah bergantung kepada kemahiran pekerja.

3.0 KAEDAH SEMBURAN

Kaedah semburan pada asasnya, mempunyai ciri-ciri pengendalian yang sama dengan Kaedah Bengkalai Tangan, kecuali teknik melaminat adalah menggunakan gentian kaca dan damar yang disembur secara serentak menggunakan peralatan mekanikal. Kaedah pembuatan ini adalah sesuai digunakan untuk menghasilkan isipadu produk yang besar dan mementingkan faktor masa, khasnya bagi produk yang mempunyai ciri luas permukaan yang besar.

Jenis gentian kaca yang digunakan adalah berbentuk benang berterusan (continuous roving). Dalam proses semburan, bahan gentian dan damar akan keluar dari muncung nozel masing-masing (Rajah 2.0). Gel-coat perlu disapu atau disembur terlebih dahulu pada permukaan acuan seperti proses yang terdapat pada kaedah bengkalai tangan.



Rajah 2 Kaedah Asas Semburan

3.1 Kelebihan Kaedah Semburan

Antara kelebihan menggunakan kaedah semburan adalah :

- i. Kerja-kerja penghasilan produk dapat ditingkatkan produktivitinya.
- ii. Penggunaan bahan mentah dapat dikawal dengan baik.
- iii. Proses ini menggunakan bentuk bahan gentian (jenis benang), adalah lebih murah berbanding dengan bentuk tikar (mat).
- iv. Nisbah gentian dan damar dapat disetkan dengan tepat dan konsisten.
- v. Kerja-kerja rekabentuk produk adalah bebas.
- vi. Kadar penyemburan yang tinggi (hingga ke 25 kg/min).

3.2 Kelemahan Kaedah Semburan

Dan antara kelemahan yang dapat dikenalpasti dalam kaedah semburan adalah :

- i. Jumlah pelaburan yang besar adalah diperlukan jika dibandingkan dengan kaedah bengkalai tangan. Ini disebabkan oleh kos pelaburan

- awal untuk pembelian mesin serta peralatan pemampat, sistem pengudaraan dan aksesori yang lain.
- ii. Hasil produk hanya mempunyai satu permukaan yang licin sahaja.
 - iii. Kadar serakan gentian kaca dan damar pada permukaan acuan adalah bergantung penuh kepada kemahiran operator. Di mana ketebalan permukaan produk adalah sukar dikawal.
 - iv. Keadaan tempat kerja yang terdedah kepada bahan kimia.
 - v. Risiko jika berlaku kerosakan pada mana-mana komponen mesin.

3.3 Ciri-ciri Utama Teknik Semburan

- | | | | |
|-------|-------------------------------|---|---|
| i. | Jenis produk untuk dihasilkan | - | Bebas |
| ii. | Dimensi produk akhir | - | Tanpa had dari 0.25m x 0.25m |
| iii. | Aspek kemasan produk akhir | - | Hanya satu sahaja permukaan licin |
| iv. | Kandungan gentian (% berat) | - | Dari 25-35% |
| v. | Kadar pengeluaran | - | Dari 50-600 kg/pekerja/hari |
| vi. | Tenaga kerja | - | Sepuluh mahir/Mahir |
| vii. | Pelaburan | - | Satu set mesin penyembur serta aksesori yang tertentu |
| viii. | Keperluan tempat kerja | - | Sistem pengudaraan (Ventilation System) |
| ix. | Bahan mentah yang digunakan | - | Gel-Coat Resin Mangkin Gentian berterusan (Continuous Roving) |

3.4 Jenis Produk Akhir

- | | | | |
|------|----------------------------------|---|-------------|
| i. | Ketebalan | - | Dari 1.5 mm |
| ii. | Jejari kelengkungan | - | Dari 5.0 mm |
| iii. | Sudut draf minimum | - | Sehingga 0° |
| iv. | Kemungkinan menggunakan pengikat | - | Dibolehkan |

3.5 Jenis-Jenis Produk Yang Dapat Dihasilkan

- | | | | |
|------|-----------------------------|---|---|
| i. | Industri Marin (Laut) | - | Bot persiaran
Bot perikanan
Hovercraft
Bot penyelamat |
| ii. | Industri Pengangkutan Darat | - | Trak
Bus
Kereta sport
Keretapi |
| iii. | Industri Perkilangan | - | Tangki Kimia |
| | • Industri Bahan Kimia | | Tangki
Bertekanan |
| | • Industri Petroleum | | Penyalur struktur
Laut lepas |
| | • Industri Perlombongan | | Penyambung |
| | • Industri Kertas | | Menara penyejuk |
| | • Stesen Janakuasa | | |
| | • Pusat Rawatan Air | | |
| iv. | Industri Pembinaan | - | Kerja-kerja
Pembentukan
Panel Sandwich
Tangki Air
Tangki Septik |

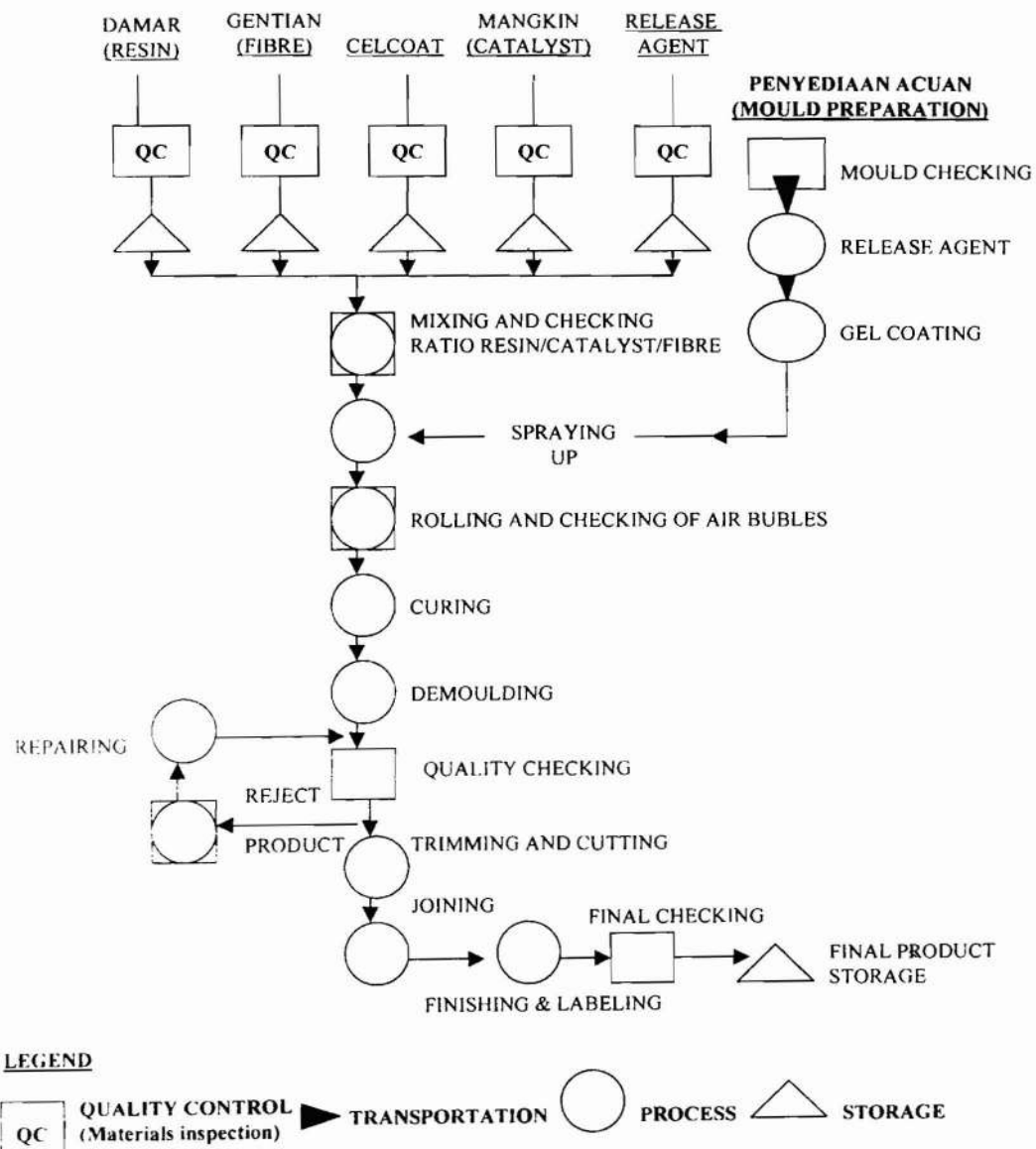
		Kolam Renang
v.	Industri Pertanian	- Tangki Penyembur Racun
vi.	Industri Elektronik	- Antena (Dome)

3.6 Proses Penghasilan Produk Berasaskan Teknik Semburan

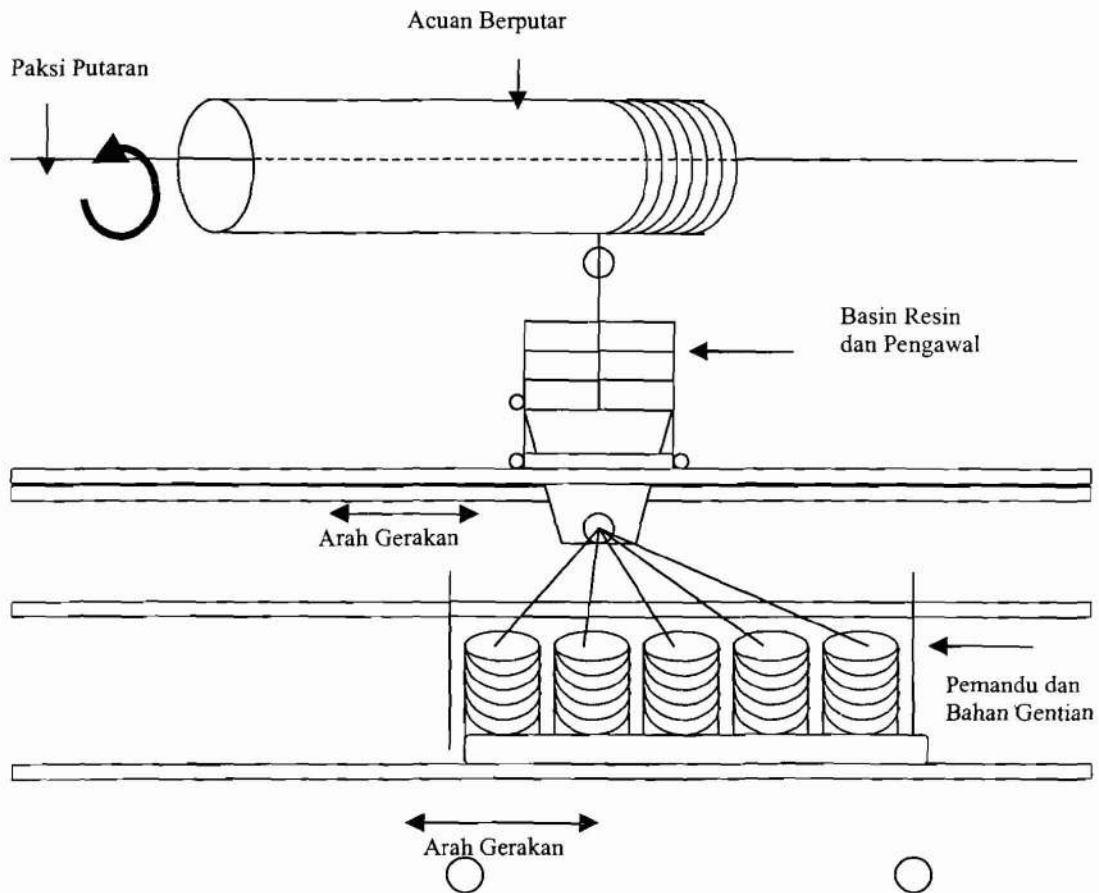
Langkah-langkah penghasilan sesuatu produk menggunakan teknik semburan adalah seperti ditunjukkan pada Rajah 3.

4.0 KAEDAH BELITAN FILAMEN (FILAMENT WINDING)

Kaedah ini menggunakan bahan gentian berbentuk filamen benang berterusan sebagai tetulang utama. Operasi yang paling mudah yang dapat ditunjukkan dalam kaedah ini adalah dengan merujuk kepada Rajah 3, di mana acuan (mandrel) berbentuk selinder berputar pada satu paksi tetap, iaitu selari dengan paksi komponen pelilit gentian. Gentian yang dililit pada acuan biasanya telah direndam pada basin damar (resin)/mangkin (catalysed resin). Biasanya sudut bagi belitan yang dapat dihasilkan dengan tepat adalah antara 25° hingga 35° . Sudut belitan yang paling rendah adalah sesuai untuk menahan daya arah membujur, sementara belitan yang bersudut 90° terhadap paksi putaran dapat menanggung tegasan gegelung (hoop stress).



Rajah 3 Carta Alir Bagi Proses Pembuatan Produk Kaedah Semburan

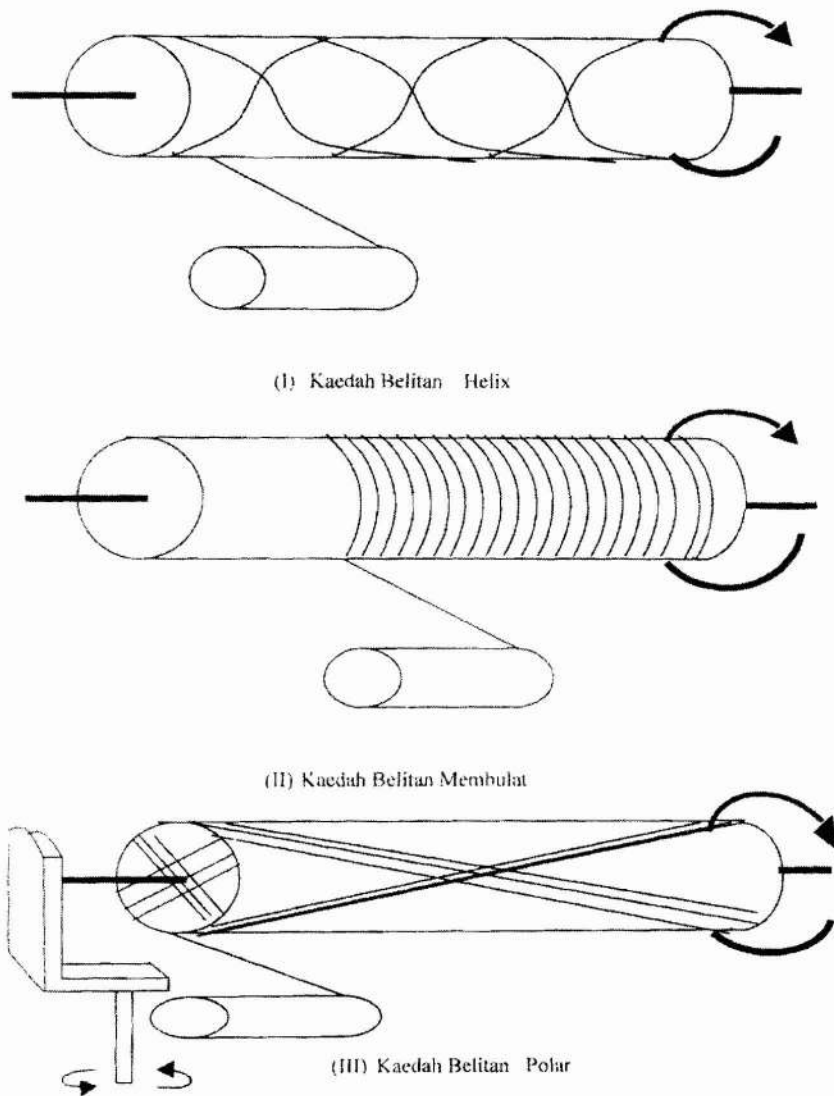


Rajah 4 Kaedah Belitan Filamen

Rajah 4 menunjukkan beberapa teknik belitan yang biasanya dipraktikkan dalam menghasilkan sesuatu produk (bentuk silinder), dan ianya amat bergantung kepada keupayaan mekanikal serta sistem pengautomasian yang dilengkapi pada sesebuah mesin belitan filamen.

Kaedah belitan filamen sesuai digunakan bagi penghasilan produk yang berteknologi tinggi, iaitu berpadanan dengan tahap teknologi yang ada pada

sesebuah mesin tersebut. Antara produk yang boleh dihasilkan dengan kaedah tersebut adalah tangki bertekanan tinggi, aci pemandu (drive shaft) bagi kereta lumba dan laras senjata.



Rajah 5 Teknik-Teknik Belitan

Berdasarkan kepada perkembangan sistem elektronik dan pengautomasian yang serba canggih, geometri produk yang kompleks telah dapat dihasilkan dengan menggunakan kaedah tersebut.

4.1 Ciri-ciri Utama Kaedah Belitan Filamen

- | | | | |
|-------|-----------------------------------|---|--|
| i. | Jenis produk untuk dihasilkan | - | Selinder atau selinder-kun |
| ii. | Dimensi produk akhir | - | Bergantung kepada spesifikasi mesin |
| iii. | Aspek Produk akhir | - | Hanya permukaan dalaman yang licin (permukaan luar perlu dimesin supaya lebih kemas) |
| iv. | Kandungan bahan gentian (% berat) | - | 30% (CSM)
60 ke 65% (Benang Berterusan) |
| v. | Kadar Pengeluaran | - | 1 ke 8 unit/
acuan/hari
30 ke 1,500
kg/pekerja/hari |
| vi. | Tenaga kerja | - | Mahir (2 Operator) |
| vii. | Pelaburan | - | Pertengahan
(Bergantung kepada kepentingan atau tahap teknologi sesuatu produk) |
| viii. | Bahan yang digunakan | - | Filem penyahacuan
Salut Gel (Gel-Coat)
Resin/mangkin sistem |

Gentian jenis CSM
Benang Berterusan, WR

4.2 Jenis Produk Akhir

- i. Ketebalan - dari 1mm
- ii. Kemungkinan menggunakan bahan pengikat - dibolehkan

5.0 KAEDAH PENARIKAN (PULTRUSION)

Kaedah penarikan adalah satu proses berterusan yang dipraktikan untuk menghasilkan struktur plastik yang diperkuat oleh gentian kaca (fibre glass) dalam bentuk yang mempunyai keratan rentas seragam. Bentuk-bentuk yang biasa dihasilkan adalah seperti rod, tiub, dan beberapa bentuk yang lebih kompleks.

Kaedah ini dapat menghasilkan struktur plastik yang mempunyai ciri-ciri kekuatan dan bertahanan tinggi serta jangka hayat yang tinggi, yang dapat memenuhi keperluan bidang pembuatan komersial. Kaedah ini mendapat nama dari proses itu sendiri di mana bahan mentah yang telah melalui die akan ditarik secara berterusan oleh alat yang dipanggil penarik (puller). Fungsi penarik ini adalah untuk memegang produk dan menarik bagi memastikan produk terus bergerak secara berterusan.

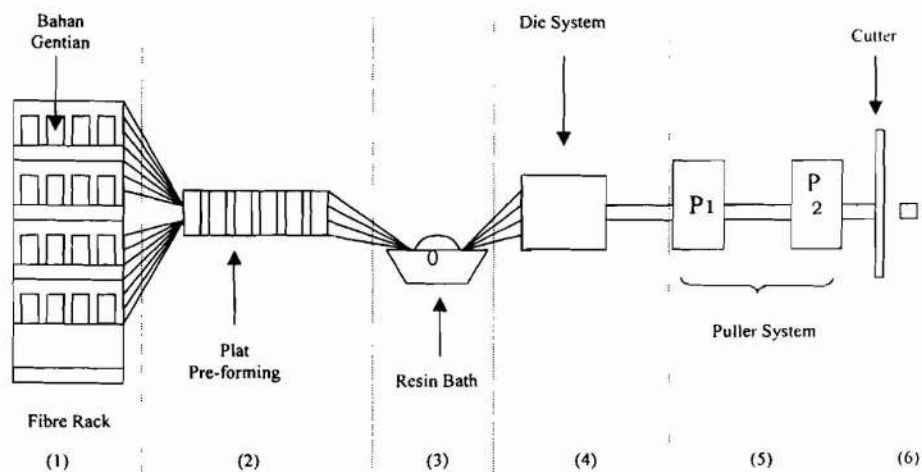
Proses penarikan bermula dengan penarikan bahan gentian ke bahagian 'pre-forming'. Bahan gentian, seperti benang berterusan disusun di atas rak sebelum memasuki bahagian 'pre-forming'. Bahan gentian akan melalui plat-plat yang akan menumpukan bahan tersebut kepada satu kumpulan yang lebih kecil.

Di dalam satu-satu proses yang dijalankan bentuk-bentuk gentian kaca yang digunakan adalah bergantung kepada produk yang hendak dihasilkan, dan terdapat keadaan di mana lebih dari satu bentuk gentian digunakan untuk sesuatu produk.

Setelah itu, bahan gentian berkenaan akan ditarik memasuki sebuah basin yang mengandungi resin yang dipanggil 'resin bath'. Di dalam basin tersebut terdapat 'roller' yang membantu pergerakan bahan gentian berkenaan. Proses ini juga dikenali sebagai 'wet out'.

Selepas melalui 'resin bath' bahan gentian/resin akan memasuki die yang berfungsi untuk mendapatkan bentuk akhir yang dikehendaki. Pada bahagian die terdapat sistem elemen pemanas yang berfungsi untuk memanaskan die seterusnya bertindak untuk merawat bahan pengacuan.

Selepas bentuk akhir produk diperolehi, produk akan ditarik oleh dua sistem penarik untuk dihantar ke bahagian pemotong, mesin ini memerlukan dua penarik untuk memastikan proses penarikan dapat dilakukan secara berterusan. Setelah produk ditarik oleh sistem tersebut, produk akan dibawa ke bahagian pemotongan.



Rajah 6 Kaedah Penarikan (Pultrusion)

5.2 Ciri-ciri Utama Kaedah Penarikan (Pultrusion)

- | | | |
|-------------------------------|---|---|
| Jenis bentuk untuk dihasilkan | - | Profil (Rod, Rasuk I, dll) |
| Dimensi produk akhir | - | Bergantung kepada keupayaan sesebuah mesin (saiz envelop die adalah penentu kepada profil yang hendak dihasilkan) |
| Aspek produk akhir | - | Semua permukaan licin dan tidak perlu kemasan akhir |
| Kandungan gentian (% berat) | - | Dari 30 ke 80% |

		(bergantung kepada jenis dan bentuk bahan gentian serta kelikatan resin)
Kadar pengeluaran	-	Bergantung kepada saiz profil produk (dari 0.3 ke 3 m/minit)
Tenaga kerja	-	Mahir (2 orang operator)
Pelaburan	-	Pertengahan ke tinggi (bergantung kepada teknologi produk)
Bahan	-	Kebanyakan bentuk/jenis bahan gentian Resin jenis polyester, vinylester dan epoksi Pigment (warna) Agen penyahacuan Agen pengecutan rendah

5.3 Jenis Produk Akhir

Ketebalan	-	dari 2mm
Sudut draft minimum	-	0°

Dengan ciri-ciri unik yang terdapat di dalamnya, produk 'pultrusion' dapat memenuhi keperluan yang mana tidak mampu dipenuhi oleh bahan kejuruteraan asas yang lain. Ia menawarkan kepada para jurutera, arkitek dan pihak pembuat (manufacturer) satu penyelesaian kepada banyak masalah rekabentuk dan kejuruteraan, khususnya, dalam bidang industri pembinaan.

6.0 KESIMPULAN

Teknologi pembuatan berasaskan penggunaan bahan komposit 'Fibre Reinforced Plastics – FRP' amat bergantung kepada kesesuaiannya dengan ciri-ciri rekabentuk sesuatu produk. Antara faktor penyumbang kepada pemilihan atau idea menghasilkan sesuatu kaedah pemprosesan adalah; geometri/bentuk bahan gentian, rekabentuk produk yang kompleks serta mementingkan ciri ketahanan yang tertentu, keadaan fizikal produk, jenis bahan resin, proses rawatan dan kos keseluruhan produk.